

# Trillion センサ時代に向けた超低電力・高周波数利用効率無線通信技術の研究開発 (165003004)

Wireless Communication Technologies Featuring Ultra-Low Power Consumption and High Frequency Efficiency for Trillion Sensor Era

## 研究代表者

笠松章史 国立研究開発法人情報通信研究機構

Akifumi Kasamatsu, National Institute of Information and Communications Technology

## 研究分担者

伊藤浩之<sup>†</sup> 原紳介<sup>††</sup> 原基揚<sup>††</sup>

Hiroyuki Ito<sup>†</sup> Shinsuke Hara<sup>††</sup> Motoaki Hara<sup>††</sup>

<sup>†</sup>国立大学法人東京工業大学 <sup>††</sup>国立研究開発法人情報通信研究機構

<sup>†</sup>Tokyo Institute of Technology

<sup>††</sup>National Institute of Information and Communications Technology

研究期間 平成 28 年度～平成 30 年度

## 概要

近い将来に到来する Trillion (1 兆個) センサ時代にふさわしい低電力で高速な無線通信技術を確立することを目指し研究開発を実施した。低コストで大量生産に向いており、環境負荷が小さいシリコン集積回路によって無線デバイスを実現することを目指した。無線回路技術に関しては、提案者のこれまでの研究成果であるボックスキャタリング無線通信技術を発展させ、従来に比べ 2 倍の 64QAM 多値変調を可能とした。開発したチップを用いて無線通信デモを実施し、従来に比べ消費電力は半分以下、通信距離は 10 倍以上に改善した。従来達成できていなかった低消費電力動作と高いスペクトル効率、1m 以上の無線通信が両立できる技術を実現し、低消費電力・多値変調ボックスキャタリング技術を実用化に大きく近づけた。

## 1. まえがき

近い将来、爆発的にセンサが増大する「Trillion(1 兆個)センサ時代」が到来し、データ収集のため無線通信を行うセンサが大量に存在するようになると予想される。センサから伝送される情報は大容量になり、周波数のひっ迫度をさらに悪化させる恐れがある。本研究開発では、シリコン集積回路を用いて、低電力で高速な無線通信の技術、準ミリ波、ミリ波の利用技術、これらを無線給電で実現する技術を開発し、将来の Trillion センサ時代にふさわしい無線通信技術を確立することを目指した。

## 2. 研究開発内容及び成果

2.1. 超低電力・高周波数利用効率無線送信集積回路  
提案者のこれまでの研究成果であるボックスキャタリング無線通信による 32 値変調(32-QAM)通信技術を発展させて、本研究ではアップリンクで以下の要件を満たす無線通信技術を確立することを目指した。

- ・伝送速度 100Mbps 以上
- ・消費電力 100 マイクロワット以下
- ・通信距離 1m 以上
- ・無線周波数 ミリ波または準ミリ波 (10GHz 以上)
- ・スペクトル効率 4b/s/Hz 以上

特に、従来達成できていない低消費電力動作と高いスペクトル効率、1m 以上の無線通信を両立する技術の開拓を本研究では主に進めた。

図 1 に示す RF-DAC 型ボックスキャタリング RF 回路を 180nm Si CMOS プロセスで設計した。電源電圧 1.0V、RF 周波数 920MHz、信号源インピーダンス 50Ω、ベースバンド信号は擬似乱数ビット列 9 段、64QAM、800 シンボル、200ks/s、中間周波数 10MHz とした。設計上は、消費電力が最大で 82μW、Typical のプロセス条件で

0dBm が入力された場合は 3.7%という良好な EVM が得られた。また、反射波の電力は-19dBm であり、メートル級の通信を達成できる見込みが得られた。

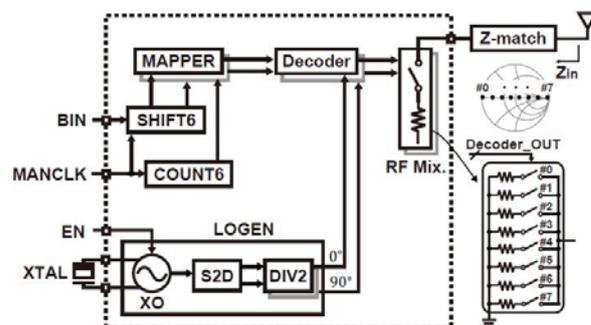


図 1: RF-DAC 型のブロック図

2.2. 超低電力・高周波数利用効率無線伝送に関する研究開発

開発したチップを用いて無線通信デモを実施した。評価ボード写真と測定の模様を図 2 に示す。評価ボードには、開発した無線通信チップ、超低消費電力容量型センサ回路、ボウタイアンテナ、給電用バラン、水晶振動子、リセット回路、LDO、ボタン電池、その他外付け抵抗、インダクタおよびキャパシタ、デバック用 RF コネクタが実装されている。1m 以上の無線通信を 16QAM、消費電力約 40μW で達成した。帯域制限をしていないためスペクトラム効率は従来と同程度であるが、消費電力は半分以下、通信距離は 10 倍以上改善した。従来達成できていない低消費電力動作と高いスペクトル効率、1m 以上の無線通信が両立できる技術を実現し、低消費電力・多値変調ボックスキャタリング技術を実用化に大きく近づけることができた。

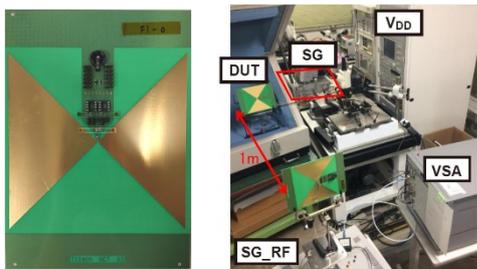


図 2: トランシーバボード (左) と測定の様子 (右)

### 2.3. 小型・低消費電力原子時計への展開

究極的には、中継器や携帯端末で利用可能な小型・低消費電力な原子時計を実現できれば、より高安定・低雑音な周波数リファレンスが利用できるようになるため、周波数利用効率のさらなる向上に貢献できる。ルビジウム原子の時計遷移周波数である 3.4 GHz において FBAR 共振器が広く利用されていることと、ルビジウムガスセルが恒温制御されるため、FBAR 発振器を一体化することで、発振回路系の温度補償が不要となることから、FBAR 発振器を組み込んだ新規の原子時計アーキテクチャを提案した。市販の小型原子時計モジュールから概算すると、その削減効果は、チップ面積にて約 30%、消費電力約 50%となった。図 3A はルビジウムの原子共鳴周波数に設計された FBAR 発振器の発振特性であり、図 3B はルビジウムの原子共鳴線に安定化(原子時計動作)させたときの発振スペクトルである。本図より、安定化によって極めてシャープかつクリーンな発振スペクトルが得られることがわかる。

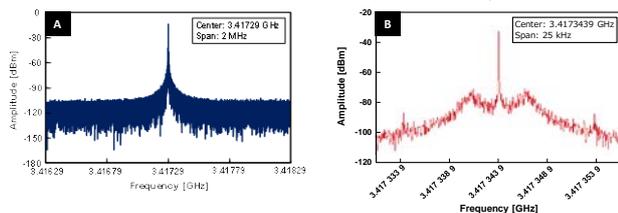


図 3: 原子共鳴により安定化された FBAR 発振器

## 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取組

より安全で環境に優しい快適な社会の実現に向けて、近年センサネットワークの活用が活発化している。様々なシチュエーションでセンサから収集した情報が発生し、さらにそれらの情報が大容量化する傾向があり、従来に比べ大容量のデータを扱うシーンが拡大している。また、それらの情報がネットワークを介して収集され活用される、IoT(Internet of Things)の時代が到来しようとしている。センサ情報が発生するシチュエーションとしては、オフィス、ホーム(家庭)、自動車、身の回り(ボディエリア)のような人間の活動に関連したものや、農業、畜産、水産、林業などの自然や動植物に関連したものがある。さらに、これらの比較的限定された領域(ローカルエリア)に比べ、より広域のセンサ情報を扱うようなシチュエーション(グローバルエリア)が例えば環境(気象)、エネルギー(スマートグリッド等)、インフラ等の分野で広がっている。本研究で開発した高効率高速無線が求められるセンサシステムの例として、図 4 に示すようなヘルスケア用途を始め、非常に多岐にわたるものが挙げられる。

### 4. むすび

従来達成できていなかった低消費電力動作と高いスペクトル効率、1m 以上の無線通信が両立できるバックスキヤッタリング技術を開発し、伝送実験を実施した。Trillion

センサ時代にふさわしい低消費電力・多値変調無線技術を実用化に大きく近づけることができた。

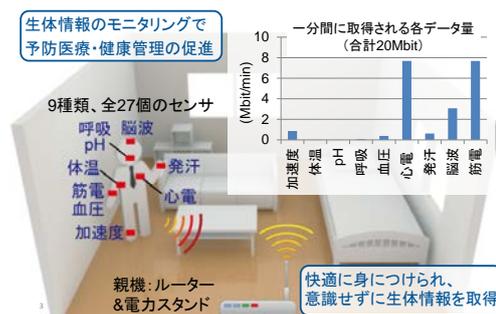


図 4: 高効率高速無線のヘルスケア利用例

### 【誌上発表リスト】

- [1] S. Ikeda, H. Ito, A. Kasamatsu, Y. Ishikawa, T. Obara, N. Noguchi, K. Kamisuki, Y. Jiyang, S. Hara, D. Ruibing, S. Dosho, N. Ishihara, K. Masu, "A -244dB-FOM High-Frequency Piezoelectric Resonator-Based Cascaded Fractional-N PLL with Sub-ppb-Order Channel Adjusting Technique", IEEE Journal of Solid State Circuits, vol. 52, no. 4, pp. 1123-1133 (2017 年 4 月)
- [2] M. Hara, Y. Yano, M. Kajita, H. Nishino, Y. Ibata, M. Toda, S. Hara, A. Kasamatsu, H. Ito, T. Ono, and T. Ido, "Microwave oscillator using piezoelectric thin-film resonator aiming for ultraminiaturization of atomic clock", Review of Scientific Instruments, vol. 89, no. 10, p. 105002 (2018 年 10 月)
- [3] 宮内楓、石原昇、伊藤浩之、"バックスキヤッタリングによる低消費電力 64QAM 無線送信回路の設計法の検討"、電子情報通信学会技術研究報告、Vol. 118、No. 375 pp. 7-9 (2018 年 12 月)

### 【受賞リスト】

- [1] Y. Ishikawa, S. Ikeda, H. Ito, A. Kasamatsu, T. Obara, N. Noguchi, K. Kamisuki, Y. Jiyang, S. Hara, D. Ruibing, S. Dosho, N. Ishihara, and K. Masu, ASP-DAC 2017 Special Feature Award, "Design of High-Frequency Piezoelectric Resonator-Based Cascaded Fractional-N PLL with Sub-ppb-Order Channel Adjusting Technique", 2017 年 1 月 17 日
- [2] 益・伊藤研究室、NE アナログ・イノベーション・アワード優秀賞、"無線通信回路での水晶フリーが目前に PLL を 2 つ接続して高精度/低雑音を達成"、2017 年 1 月
- [3] 宮内楓、石原昇、伊藤浩之、電子情報通信学会集積回路研究会 研究会優秀若手講演賞、"バックスキヤッタリングによる低消費電力 64QAM 無線送信回路の設計法の検討"、2019 年 5 月 14 日

### 【報道掲載リスト】

- [1] "高周波の圧電共振器 低雑音で PLL 適用" 日刊工業新聞、2016 年 6 月 29 日
- [2] "小型の低コスト共振器 東工大など" 日本経済新聞、2016 年 7 月 1 日
- [3] "小型で低コスト共振器 東工大など無線通信デバイス用" 日本産業新聞、2016 年 7 月 1 日

### 【本研究開発課題を掲載したウェブページ】

- <http://www.titech.ac.jp/news/2016/035477.html>  
<http://eetimes.jp/ee/articles/1606/17/news042.html>  
<http://www.optronics-media.com/news/20160616/42626/>